

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Zajištění čistoty maziv v provozu lisovacích strojů

The Purity Ensuring of Lubricants in Press Machines Operation



Student:

Vedoucí diplomové práce:

Bc. Jan Tomeček

Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Tomeček**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: **Zajištění čistoty maziv v provozu lisovacích strojů**
The Purity Ensuring of Lubricants in Press Machines Operation
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Na základě požadavků a podkladů zadavatele proveďte posouzení současného stavu v oblasti mazání lisovacích strojů KrausMaffei se zaměřením na sledování a zajištění čistoty používaných maziv.

V rámci zadání zpracujte:

1. Literární rešerši k problematice mazání lisovacích strojů výrobních linek, používaným mazivům a možnostem sledování jejich základních vlastností s využitím tribotechnické diagnostiky.
2. Ověření aktuálního stavu olejových náplní lisovacích strojů KrausMaffei na základě rozborů odebraných vzorků maziv, zejména z pohledu obsahu mechanických nečistot.
3. Návrh možností technických řešení pro zajištění trvalé čistoty používaných maziv vedoucích ke snížení poruchovosti sledovaných zařízení, resp. ke splnění požadavků na dosažení provozní spolehlivosti.
4. Výběr vhodné varianty řešení s přihlédnutím k velikosti olejových náplní, pořizovacích nákladů a ekonomické náročnosti provozu.
5. Doporučení pro další provoz lisovacích strojů KrausMaffei, včetně aplikace zásad tribotechnické diagnostiky.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, František, ZIEGLER, Jiří a MARASOVÁ, Daniela. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s.

ISBN 80-7078-883-6.

ŠAFR, Emil. *Tribotechnika*. SNTL Praha - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1984. 300 s. 04-243-84.

SZCZEREK, Marian a WISNIEWSKI, Marek. *Tribologie, Tribotechnika*. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji Radom, 2000. 727 s. ISBN 83-7204-199-7.

SHIGLEY, Joseph Edward et al. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. v Brně: VUTUM, 2010. xxv, 1159 s. Překlady vysokoškolských učebnic; sv. 3. ISBN 978-80-214-2629-0.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny podklady a literaturu.

V Ostravě 16.5.2016



Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 16.5.2016



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jan Tomeček

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Veselí 33

Mohelnice 789 85

Okres Šumperk

Anotace Diplomové práce

Tomeček, J. *Zajištění čistoty maziv v provozu lisovacích strojů*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2016, 61 s. Diplomová práce, vedoucí práce: Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.

V diplomové práci se zabývám problematikou zajištění čistoty a kvality hydraulických olejů u vstřikovacích lisů krauss Maffei. Jedná se zejména o zjištění aktuálního stavu olejových náplní u strojů a jejich posouzení pro další provoz. Za využití tribotechnické diagnostiky zjišťuji potřebné informace o kvalitě hydraulického oleje a jeho čistotě a posuzuji možnost jeho dalšího použití. Pro zlepšení a udržení čistoty maziva jsem navrhnul použití filtračního zařízení pro trvalé filtrování olejové náplně lisu. Dalším pokračováním a pravidelností využívání tribotechnické diagnostiky docílíme maximálního využití životnosti maziva.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

Tomeček, J. *The Purity Ensuring of Lubricants in Press Machines Operation*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of mechanical engineering, Department of production machines and design, 2016, 61 p. Thesis head: Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.

In this diploma thesis I'm apply of problems to ensuring purity and quality of hydraulic oil in injection press machines Krauss Maffei. It's about finding actual state of oil filling machinery and their review for other working. In using Tribotechnical diagnostic I'm finding needful information about quality of hydraulic oil and it's purities and I rewiev possibilities for it's another using. For impoving and holding purity lubricants I'm suggest using filtration apparatus for pernament filtering oil fill press machine. Next continue and regular using tribotechnical diagnostic we're reaching maximum using lifetime lubricants.

Poděkování

Děkuji panu Ing. Ladislavu Hrabcovi, Ph.D. za pomoc a rady při zpracování práce. Dále bych chtěl poděkovat rodičům za nemalou finanční i psychickou podporu po celou dobu mého studia.

Seznam použitých značek a symbolů

μm	mikrometr
ml	milimetr
Cu	měď
Fe	železo
$^{\circ}\text{C}$	stupeň celsia
PH	provozní hodiny
ppm	promile
ČSN, ISO, ČSN EN ISO	zkratky použitých norem
s	sekunda
max	maximum
min	minimum
KM	Krauss Maffei
např.	například
$\nu \text{ (mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	viskozita
obr.	obrázek
tab.	tabulka
FTIR IČ	infračervená spektrometrie
ISO (NAS)	kód čistoty
mg	miligram
TAN	číslo celkové kyselosti
TBN	číslo celkové alkality
$\varphi(^{\circ})$	úhlová poloha
$\rho \text{ (g/m}^3\text{)}$	hustota
$\tau \text{ (s)}$	doba průchodu kuličky viskozimetrem

$r \text{ (m)}$	poloměr
$g \text{ (m.s}^{-2}\text{)}$	gravitační zrychlení
$c \text{ (mm}^2\text{.s}^{-2}\text{)}$	konstanta viskozimetru
$K \text{ (mm}^2\text{.s}^{-2}\text{)}$	konstanta rotačního viskozimetru
$\omega \text{ (rad.s}^{-1}\text{)}$	úhlová rychlost
$\rho_k \text{ (g/m}^3\text{)}$	hustota kuličky
$\rho_{\text{ref}} \text{ (g/m}^3\text{)}$	hustota srovnávací kapaliny
$\mu \text{ (rad.s}^{-1}\text{)}$	rychlost pádu kuličky

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	7
1 Výrobce a popis principu vstřikovacích strojů	12
1.1 Vstřikování termoplastů	13
2 Technická diagnostika	14
2.1 Nedestruktivní diagnostika	14
2.2 Bezdemontážní diagnostika	15
3 Tribodiagnostika	16
3.1.1 Základní informace o hydraulických kapalinách	16
3.2 Celkové znečištění	17
3.2.1 Zdroje nečistot v hydraulických kapalinách:	17
3.2.2 Metody stanovení celkového znečištění	18
3.3 Hodnocení oleje a fyzikálně chemických parametrů	21
3.3.1 Obsah vody	21
3.3.2 Kinematická viskozita	23
3.3.3 Bod vzplanutí	26
3.3.4 Číslo alkality a kyselosti	29
3.3.5 Metody pro stanovení koncentrace otěrových kovů	29
4 Praktická část	32
4.1 Stroj KM 650	32
4.2 Příklad poruch	33
4.3 Použitý hydraulický olej	35
5 Využití tribodiagnostiky	36
5.1 Referenční vzorek	36
5.1.1 Vyhodnocení rozboru	36
5.1.2 Stav degradace olejové náplně:	37
5.2 Odběr po 2 100 Ph	37
5.2.1 Vyhodnocení rozboru	38
Tab. 5.3 Vyhodnocení degradace olejové náplně	38
5.2.2 Ferografie	39
5.2.3 Kód čistoty	40
5.2.4 Vyhodnocení zbarvení membrány	41
5.2.5 Infračervená spektrometrie	42

5.2.6	Stav degradace olejové náplně:.....	42
5.2.7	Shrnutí rozboru a doporučení	43
5.3	Použití filtrace	43
5.3.1	Schéma filtračního zařízení	44
5.3.2	Základní prvky filtračního zařízení.....	45
5.4	Odběr po 2 100 PH po přefiltrování.....	46
5.4.1	Vyhodnocení rozboru	46
5.4.2	Ferografie.....	47
5.4.3	Kód čistoty	48
5.4.4	Vyhodnocení zbarvení membrány	49
5.4.5	Infračervená spektrometrie	49
5.4.6	Stav degradace olejové náplně:.....	50
5.4.7	Shrnutí rozboru a doporučení	50
5.5	Odběr po 2100 PH po trvalém zapojení filtračního zařízení.....	51
5.5.1	Vyhodnocení rozboru	51
	Tab. 5.12 Vyhodnocení degradace olejové náplně.....	51
5.5.2	Ferografie.....	53
5.5.3	Kód čistoty	53
5.5.4	Vyhodnocení zbarvení membrány	54
5.5.5	Infračervená spektrometrie	55
5.5.6	Stav degradace olejové náplně:.....	55
5.5.7	Shrnutí rozboru a doporučení	56
5.6	Finanční vyhodnocení	56
6	Závěr.....	57
7	Seznam použité literatury	59

Úvod

Tato diplomová práce je zaměřena na možnosti využití tribodiagnostiky v provozech lisovací techniky. Moderní posun v péči a údržbu strojů dnes posouvá dané odvětví v důležitosti na žebříčku na popředí. Základním principem využívající tribodiagnostiku je posouzení technického stavu stroje rozбором olejové náplně. Tohle médium svým složením napoví z velké části o technickém stavu zařízení a pomáhá předejít mnoha budoucím haváriím v provozu. Napomáhá také maximální využitelnosti životnosti maziva a určit ve správný okamžik podle zjištěných vlastností potřebu provést výměnu. Využívání maziva, které nesplňuje předepsané chemicko-fyzikální vlastnosti a čistotu, znamená pro stroj z velké části vážný problém a může vést k velkým haváriím.

Zaměřením na firmu Krauss Maffei a jejich lisovacím strojům cílím využití metod tribodiagnostiky na hydraulickou náplň potřebnou pro provoz. Cíl této práce je zavedení funkčního časového předpisu využití rozborů tribodiagnostiky v provozu lisovacího stroje a díky tomu minimalizovat možnost poruch a havárií stroje a tím i následných odstávek. Díky tomu posunutí potřeby kompletní výměny olejové náplně stroje na hranici životnosti maziva a tím dosáhnout možných ekonomických i časových úspor. Při znečištění maziva najít optimální možnosti řešení a najít způsoby prodloužení životnosti hydraulického oleje.

1 Výrobce a popis principu vstřikovacích strojů

Divize Krauss Maffei nese jméno podle největšího obchodního partnera, německé firmy Krauss Maffei Technologies GmbH, která se od roku 1926 zabývá sériovou výrobou vstřikovacích strojů a dnes patří k největším na světě. Firma patří ke světové špičce a je známa hlavně svými velkými stroji, které jsou nejrychlejší na trhu. [4]

Největší divizí firmy Krauss Maffei je výroba vstřikovacích strojů. Výrobní závody jsou umístěné v německém Mnichově a slovenském Martině (viz obr. 1). Výroba lisovacích strojů nabízí pět konstrukčních řad. Hydraulické stroje s označením CX, GX, MX a elektrické AX a EX. Díky tomuto širokému zaměření můžou uspokojit širokou poptávku zákazníků od jednoduchých strojů pro standardní aplikace, přes technologicky pokročilé až po speciální vývojová řešení. Nejhojněji využívaná technologie vstřikovacích strojů je v automobilovém průmyslu a vstřikování plastů, u zdravotnické techniky, balení spotřebního zboží a jiné. Stroje mají uzavírací sílu v rozsahu od 40 do 6000 tun. [4]

Široké rozpětí pěti řad vstřikovacích strojů lze pokrýt nejen standardní výrobní aplikace ale i díky vysokým přesnostem a tolerancím i velmi přesné a speciální výrobní procesy. Jedná se zejména o pokročilou technologii vícevstřiku, kdy během jednoho pracovního cyklu formy lze vstřikovat více materiálu až 4 vstřikovacími jednotkami. Další výhodou je možnost využití otočné desky nebo kopírovací techniky. [4]

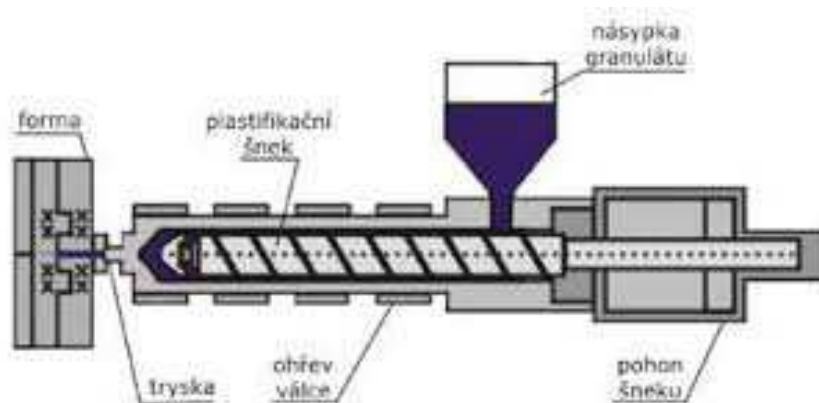


Obr. 1 Výrobní prostory KM ve slovenském Martině [4]

1.1 Vstřikování termoplastů

Je nejrozšířenější proces, při němž se za vysokého tlaku vstříkne roztavený granulovaný materiál smísený s plnivý a barvivý do uzavřené formy. Dostupný prostor ve formě naplňuje roztavený materiál a vyplňuje všechny dutiny určené pro výlisek. V závislosti na velikosti a hmotnosti výlisku je třeba po vstřiku materiálu ponechat formu uzavřenou, aby stěny formy odebraly teplo ze vstříknutého materiálu, a ochlazením tento materiál ztuhne. Formu je nutné chladit, proto jsou uvnitř desek formy vyrobeny kanály chlazení, kterými neustále protéká chladicí voda nebo olej. Schéma vstřikovacího ústrojí popsáno na obr. 1.1. [6]

Průtok vody (oleje) je regulován tak, aby byla forma temperována na správnou provozní teplotu a tím i optimální teplotní podmínky. Následuje otevření formy a pomocí pohyblivé části formy, která se nazývá vyhazovače, dojde k vyjmutí výlisku z formy včetně vtokové soustavy. Následně se forma opět uzavře. Tento cyklus se v krátkém intervalu opakuje řádově v sekundách až desítkách sekund. Podle velikosti formy je možno na jeden pracovní cyklus vyrobit až několik desítek kusů výlisků. [6]



Obr. 1.1 Schéma principu vstřikování plastů [6]

2 Technická diagnostika

Technická diagnostika využívána v oblasti strojů a zařízení napomáhá pomocí moderních technik a metod včasné zjištění technického stavu sledovaného objektu a tím zamezit možným komplikacím a poruchám při provozu těchto zařízení. Díky využití těchto metod napomáháme snižovat náklady na opravy, včasné rozhodnout o nutnosti opravy stroje a díky tomu mít možnost naplánování odstávky z výroby a celkově zvýšit bezpečnost provozu daného zařízení a obsluhujících osob. [2]

Základní pojmy:

- **diagnóza** – cílem je analýza současného technického stavu objektu a jeho vyhodnocení další provozní schopnosti,
- **detekce** – odhalení vznikající poruchy,
- **lokalizace** – určení místa vzniku poruchy,
- **specifikace** – zjištění příčiny vznikající poruchy,
- **predikce** – určení zbytkové životnosti a času do nutné opravy.

2.1 Nedestruktivní diagnostika

- Prozařovací metody** – pracují na principu prozařování materiálu ionizačním světlem a vytvoření zeslabení v důsledku průchodu materiálu přes vnitřní vadu. Při měření je využíváno zdraví nebezpečného radioaktivního záření, proto se těchto metod smí využívat jen za daných bezpečnostních opatření. [2]
- Penetrační metody** – využívá se k detekci povrchových trhlin a necelistvostí. Princip metody je založen na kapilární elevaci, kterou způsobuje povrchové napětí kapaliny způsobené kohézní silou u stěn nádoby. [2]
- Vizuální metody, endoskopie** – Nejzákladnější metoda nedestruktivní diagnostiky založená na kontrole stavu zařízení pouhým okem a posouzení v závislosti na technických znalostech a praxi zkoumající osoby. Využíváme např. lupy pro

zvětšení detailů nebo průmyslových kamerových endoskopů pro nepřístupná místa. [2], [14]

- d) **Ultrazvukové metody** – metoda založená na principu využití jedné nebo dvou sond a za vyslání ultrazvukové vlny o frekvenci 100 kHz do 50MHz. Průchodnost akustického signálu je utlumený nebo úplně zanikne vinou vnitřních vad. Rychlá a jednoduchá metoda pro kontrolu např. stěn tlakových nádob. [2]

2.2 Bezdemontážní diagnostika

- a) **Vibrodiagnostika** – zjištění technického stavu zkoumaného objektu se určuje ze zdroje informací v podobě vibrací. Využívá se u rotačních strojů, kde se na různé otáčkové frekvenci může projevit daná vznikající nebo plnohodnotná porucha. [2]
- b) **Termodiagnostika** – zdrojem informací o technickém stavu zkoumaného objektu je zdroj tepla měřený dotykovou nebo bezdotykovou metodou. Využití např. u rozvaděčů kde se špatný kabel nebo svazek projeví chladným místem kabelu nebo svazku. [2]
- c) **Akustická diagnostika** – jako zdroj informací při měření slouží akustický ultrazvukový signál. Tento typ měření využíváme např. u měření hydraulických obvodů, kde vzniká ultrazvukový signál při proudění kapaliny přes hydraulické odpory a značí vznikání kavitačních procesů. [2]
- d) **Tribodiagnostika** – využíváme informací poskytujících z maziva ze zkoumaných objektů a strojů. Pomocí rozborů maziva zjišťujeme fyzikálně-chemické vlastnosti a nečistoty v mazivech obsažených, které nám dávají skutečný pohled na technický stav zkoumaného objektu. [2], [13]

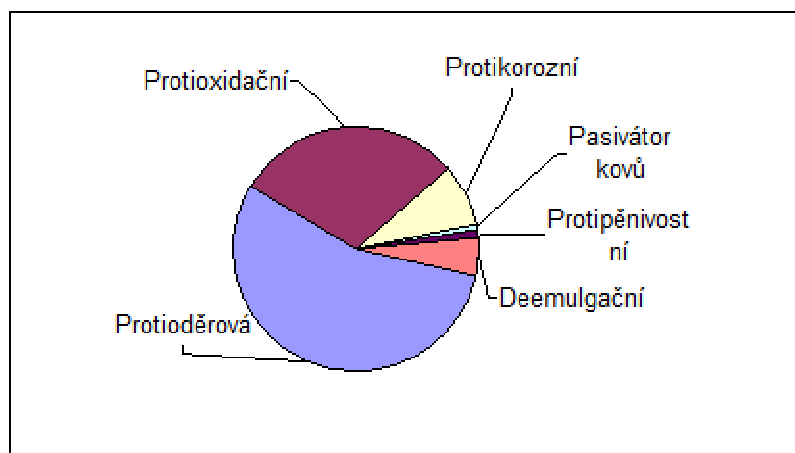
3 Tribodiagnostika

3.1.1 Základní informace o hydraulických kapalinách

Úkolem hydraulických kapalin je přenos energie s co nejnižšími ztrátami způsobenými třením a opotřebením. Požadavky na efektivnější využití energie, snížení tření a zvýšení mechanické účinnosti si vynucují konstrukční změny hydraulických systémů a zvýšený nárok na hydraulické kapaliny. [3]

Hydraulická kapalina se skládá ze základní složky, kterou je nejčastěji ropný základový olej, a chemických látek zvaných přísady (aditiva v Tab. 3.1). Stabilita oleje znamená odolnost proti stárnutí, proti zvyšování viskozity, tvorbě laků a úsad. Ke stabilitě přispívá jak volba základového oleje, tak účinných přísad a antioxidantů. Obsah pomocných složek v oleji poměrově znázorněný na obr. 3.1. [1]

Správná a dlouhodobá funkce hydraulického systému závisí zejména na čistotě hydraulického oleje, ale také na správných parametrech. Proto je důležité zařadit pravidelnou kontrolu vlastností hydraulického oleje pomocí technické tribodiagnostiky. [1]



Obr. 3.1 Obsah pomocných složek v hydraulickém oleji [9]

Tab. 3.1 Přehled používaných aditiv [3]

Přehled používaných aditiv	
Antioxidanty	Zpomalují oxidační děje
	Prodlužují životnost
Detergenty	Zamezují tvorbě usazenin na částech motoru s vysokou teplotou
	Neutralizují kyselé produkty oxidace a hoření
Disperzanty	Zamezují shlukování nečisto
	Udržují nečistoty rozptýlené v oleji
	Zamezují tvorbě studených kalů
Protioděrové přísady a modifikátory tření	Vytvářejí únosnější mazací film
	Snižují součinitel tření
Inhibitory koroze	Pasivují povrch kovů
	Brání tvorbě kyselin v oleji
	Zabraňují korozi
Inhibitory rezivění	Chrání kovové povrch proti korozi
	Odpuzují vodu z kovových povrchů
Modifikátory viskozity	Vylepšují viskozitně – teplotní charakteristiku
Protipěnovostní přísady	Zabraňují pění při vztyku oleje se vzduchem
Depresanty	Snižují bod tuhnutí

3.2 Celkové znečištění

3.2.1 Zdroje nečistot v hydraulických kapalinách:

- primární – nečistoty hydraulické kapaliny, nádrže, hydraulických prvků a potrubí,
- z okolí – vniklé nečistoty z okolního prostředí netěsným otvorem nádrže a po netěsném povrchu pístnic,
- vzniklé v hydraulických kapalinách – nečistoty se tvoří například samovolným vypadnutím aditivů z oleje (antioxidanty, detergenty a další),
- vzniklé z obvodu – nečistoty vznikající za cirkulačního působení hydraulické kapaliny (eroze, opotřebení a další). [12], [9]

3.2.2 Metody stanovení celkového znečištění

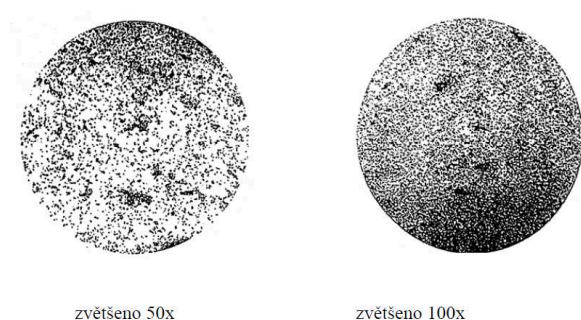
A) Mikroskopické stanovení velikosti a počtu nečistot – ČSN 65 6081

- na membránový ultrafiltr se zachytávají částice nečistot, které jsou poté počítány pod mikroskopem a řadí se dle velikosti podle okulárového měřítka do 6 skupin:
 - $05 \div 15 \mu\text{m}$,
 - $15 \div 25 \mu\text{m}$,
 - $25 \div 50 \mu\text{m}$,
 - $50 \div 100 \mu\text{m}$,
 - $100 \mu\text{m}$,
 - vlákna.

B) **Kód čistoty** - úroveň znečištění pevnými částicemi se vyhodnocuje metodou kódování. [8], [11]

a. Kód čistoty dle ČSN ISO 4406/87 (ČSN 65 6206) – např. 21/19 M:

- prvním číslem kódu se udává počet zjištěných částic v 1 ml vzorku, a co jsou $\geq 5 \mu\text{m}$. Dle tabulky zjišťujeme, že kódové číslo 21 odpovídá počtu částic $10\,000 \div 20\,000$,
- druhým číslem kódu udáváme počet zjištěných částic v 1 ml vzorku, co jsou $\geq 15 \mu\text{m}$,
- dle způsobu stanovení počtu částic se za druhé kódové číslo přiřadí M (mikroskop na obr. 3.3) nebo AP (automatickým počítačem nečistot na obr 3.4).



Obr. 3.2 Kód čistoty dle ISO 4406, třída čistoty 21/18 [9]

Tab. 3.2 Tabulka k určení kódu čistoty [9]

počet částic v 1 ml vzorku		kódové číslo
více než	do max.	
80 000	160 000	24
40 000	80 000	23
20 000	40 000	22
10 000	20 000	21
5 000	10 000	20
2 500	5 000	19
1 300	2 500	18
640	1 300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9
1,3	2,5	8
0,64	1,3	7
0,32	0,64	6
0,16	0,32	5
0,08	0,16	4
0,04	0,08	3
0,02	0,04	2
0,01	0,02	1
0,005	0,01	0
0,0025	0,005	0,9

b. kód čistoty dle ČSN ISO 44 06/99 – např. 18/16/15:

- číslo na prvním místě kódu udává počet zjištěných částic v 1 ml vzorku o velikosti $\geq 4 \mu\text{m}$. Určujeme z tabulky v normě,
- číslo na druhém místě kódu udává počet zjištěných částic v 1 ml vzorku o velikosti $\geq 6 \mu\text{m}$. Určujeme z tabulky v normě,
- číslo na třetím místě kódu udává počet zjištěných částic v 1 ml vzorku o velikosti $\geq 16 \mu\text{m}$. Určujeme z tabulky v normě.



Obr. 3.3 Mikroskop pro stanovení kódu čistoty [10]

Tab. 3.3 Tabulka normy ISO 4406 pro určení kódu čistoty [9]

výťah z normy ISO 4406						
třída čistoty dle ISO	počet částic v 1 ml vzorku				třída čistoty dle NAS	zóna
	velikost > 5 µm		velikost > 15 µm			
	od	do	od	do		
10/07	500	1 000	64	130	2	B E Z P E Č N Á
11/08	1 000	2 000	130	250	3	
12/09	2 000	4 000	250	500	4	
13/08	4 000	8 000	130	250	5	
13/10	4 000	8 000	500	1 000		
14/09	8 000	16 000	250	500	6	
14/11	8 000	16 000	1 000	2 000		
15/09	16 000	32 000	250	500	7	
15/12	16 000	32 000	2 000	4 000		
16/12	32 000	64 000	2 000	4 000	8	
16/14	32 000	64 000	8 000	16 000		
17/12	64 000	130 000	2 000	4 000	9	
17/14	64 000	130 000	8 000	16 000		
18/12	130 000	250 000	2 000	4 000	10	
18/15	130 000	250 000	16 000	32 000		
19/14	250 000	500 000	8 000	16 000	11	N E B E Z P E Č N Á
19/17	250 000	500 000	64 000	130 000		
20/15	500 000	1 000 000	16 000	32 000	12	
20/17	500 000	1 000 000	64 000	130 000		
21/17	1 000 000	2 000 000	64 000	130 000		
21/19	1 000 000	2 000 000	250 000	500 000		
22/17	2 000 000	4 000 000	64 000	130 000		
22/19	2 000 000	4 000 000	250 000	500 000		
23/17	4 000 000	8 000 000	64 000	130 000		
23/19	4 000 000	8 000 000	250 000	500 000		
24/20	8 000 000	18 000 000	500 000	1 000 000		
24/24	8 000 000	18 000 000	8 000 000	18 000 000		

c. stanovení obsahu mechanických nečistot na membránovém filtru:

- ČSN 65 6220,

- filtrace probíhá za podtlaku přes membránový ultrafiltr. Výsledek hodnocení stanovuje obsah mechanických nečistot v mg na 100 ml vzorku.



Obr. 3.4 Mikroskop a automatickým čítačem nečistot [10]

3.3 Hodnocení oleje a fyzikálně chemických parametrů

3.3.1 Obsah vody

Voda přítomná v náplni hydraulické soustavy znamená pro stroj vážný problém, pokud se jedná o více než 0,02% hmotnostního obsahu vody. Úplnému zamezení přítomnosti v olejové náplni lze totiž v běžné praxi jen velmi těžko zabránit. Voda přítomná v mazivu napomáhá velmi často ke korozi součásti systému, tvorbě emulze, zvyšování viskozity, vypadávání aditiv, pění atd. [7]

Ve vzorku se obsah vody zjišťuje běžně ve dvou etapách. V první etapě testování se posoudí jednoduchým testem přítomnost obsahu vody v testovaném vzorku. Nejběžnějším a nejjednodušším způsobem je kapka vzorku oleje na rozpálenou podložku a podle praskavého zvuku zjištění přítomnosti vody v olejové náplni. V kladném případě se poté přistupuje na zjištění přesného obsahu vody v testovaném vzorku. [5]

Zjištění obsahu vody

a) Vizuální posouzení –

nejjednodušší princip, kdy dobře protřepaný vzorek odebraný ze soustavy se nám při koncentraci 0,025% obsahu vody zakalí (na obr. 3.5). Pokud se v oleji žádná voda nenachází, musí vzorek zůstat čirý. Je důležitá dobrá zkušenost osoby, která tento test provádí, jelikož se jedná o subjektivní posouzení. [1]



Obr. 3.5 Vzorky olejů zabarvené obsahem vody [7]

b) Prskací zkouška –

z dobře homogenizovaného vzorku oleje se odebere například tyčinkou množství 2-3 kapek a kápne se na předem rozpálenou podložku o teplotě asi 180 °C. Pokud se ve vzorku nenachází žádný obsah vody, tak se kapka rozptýlí do šířky a zbude po ní pouze mastná stejnorodá skvrna. Obsah vody v poměru 0,02% vytváří mikrobublínky s vířivým pohybem ve středu kapky. Obsah 0,1% vody vytváří bublinky o velikosti 0,1 mm na dobu 1 – 2 s a obsah vody 0,2% bublinky o velikosti 1mm asi na 3s. [1]

c) Coulometrická zkouška –

Metoda dle ČSN 65 0330. Tato metoda je velmi přesná pro zjištění stopové množství vody. Uvnitř titrační nádoby se díky průchodu proudu uvolňuje Jód J_2 , který reaguje s vodou. Víme že 1mol jódu reaguje s jedním molem vody. A tudíž 1mg vody je ekvivalentní náboji 10,71 A.s. Díky tomu můžeme určit při titraci po

zreagování veškeré vody generovaným jódem indikovanou koncentrací nadbytečného jódu v nádobce. [1], [13]

d) Destilační zkouška –

Menší citlivost než u Coulometrické metody. Stanovení od 0,02% obsahu vody. Dle ČSN 65 6062 například destilace s xylenem. [1]

3.3.2 Kinematická viskozita

Určení kinematické viskozity řadíme mezi základní kvalitativní ukazatele olejů. Slouží k základnímu třídění olejů a charakterizuje mazivost. Nárůst hodnoty viskozity způsobuje ve strojním zařízení zahušťování olejové náplně nečistotami a oxidačními produkty. Naopak pokles hodnoty viskozity způsobuje vniknutí paliva, nebo jiných zředujících látek do olejové náplně stroje. Náhlá změna viskozity nejčastěji z pohledu tribodiagnostiky souvisí s mechanickou závadou. Nízká hodnota viskozity znamená pro stroj smíšené až suché tření, které má za následek velké opotřebení. Vysoká hodnota viskozity naopak způsobuje ztráty energie díky velkému koeficientu tření. Viskozita se udává a měří při 40 a 100°C. U průmyslových olejů je charakteristická závislost jejich viskozity na teplotě. Změna teploty o 1°C znamená změnu viskozity až o 5 %. [7]

Určení kinematické viskozity

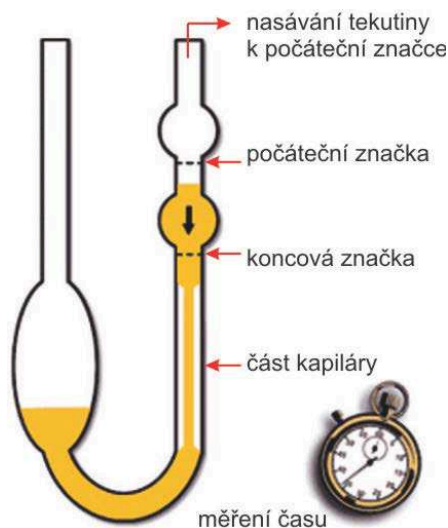
a) Kapilární viskozimetry dle ČSN 65 6216

Pracuje na jednoduchém principu průtoku objemu zkoušeného vzorku kapilárním skleněným viskozimetrem. Nejčastěji používáme viskozimetr typu Ubbelohde (obr. 3.6). [7], [5]

Výsledná kinematická viskozita při teplotě zkoušky,

$$\nu = c \cdot \tau$$

kde: c konstanta viskozimetru,
 τ aritmetický průměr doby průtoku viskozimetrem



Obr. 3.6 Viskozimetr podle Ubbelohde [5]

b) Metoda padající kuličky

Toto měření je založeno na Stokesově vztahu pro pád koule o poloměru r ve viskózním prostředí.

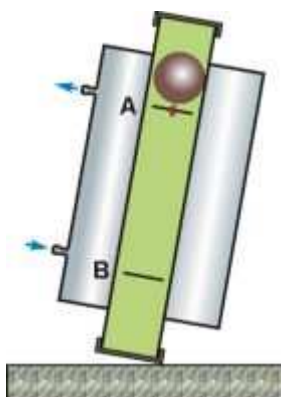
$$\eta = \frac{2}{9} \frac{r^2 \cdot g \cdot (\rho_k - \rho)}{u}$$

Častá varianta kuličkových viskozimetrů je viskozimetr Höpplerův (obr. 3.7). Skleněnou trubicí se valí kulička o přesném vnitřním průměru, skloněnou v úhlu 10° , naplněnou měřenou kapalinou, obklopenou temperačním pláštěm. Měří se čas, potřebný k průchodu kuličky mezi horní ryskou A a spodní ryskou B. Obvykle se měří srovnávacím způsobem. [7]

$$\frac{\eta}{\eta_{\text{ref}}} = \frac{u_{\text{ref}}}{u} \cdot \frac{(\rho_k - \rho)}{(\rho_k - \rho_{\text{ref}})} = \frac{\tau}{\tau'} \cdot \frac{(\rho_k - \rho)}{(\rho_k - \rho_{\text{ref}})}$$

ρ_k je hustota kuličky, ρ a ρ_{ref} jsou hustoty měřené a srovnávací kapaliny, μ a μ_{ref} rychlosti pádu kuličky,

τ a τ_{ref} doby průchodu kuličky mezi dvěma ryskami A a B, je-li trubice naplněna měřenou a standardní kapalinou. [7]



Obr. 3.7 Höpplerův viskozimetr [7]

c) Rotační viskozimetry

Metoda založena na měření torzní síly, kterou působí rotující kapalina na element zavěšený na torzním vlákně. Rotační viskozimetr sestává ze dvou soustředných válců, mezi nimiž je úzká mezera, vyplněná měřenou kapalinou (obr. 3.8). [8]

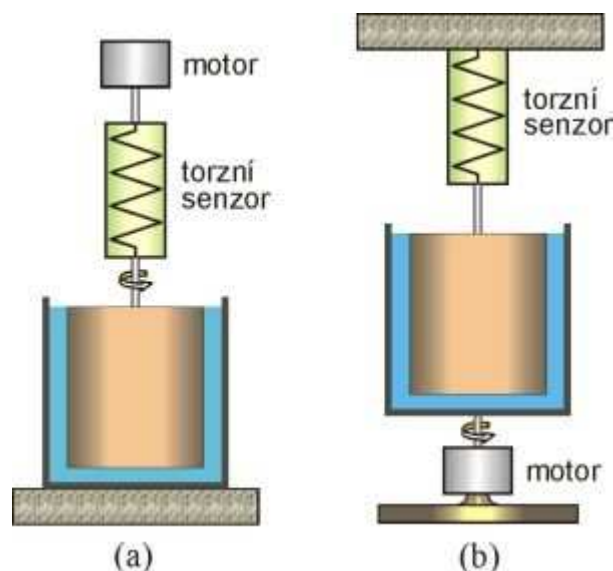
Principem metody je otáčení jednoho z elementů konstantní úhlovou rychlostí, vnitřním třením kapaliny je otáčivý moment přenášén na druhý element, zavěšený na torzním vlákně. Po ustavení rovnováhy se měří úhel pootočení elementu od původní polohy φ , který je úměrný úhlové rychlosti ω a viskozitě kapaliny (K je konstanta přístroje):

$$\varphi = K \cdot \eta \cdot \omega$$

ω ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$).....úhlová rychlost

φ (rad).....úhel natočení

Kkonstanta přístroje



Obr. 3.8 (a) Systém Couett s otáčivým vnitřním válcem
(b) Systém Searle s otáčivým vnějším válcem [8]

3.3.3 Bod vzplanutí

Výše hodnoty bodu vzplanutí je důležitým jakostním i bezpečnostním ukazatelem mnoho druhů čistých maziv. U využívaných olejů v zařízeních pak pokles hodnot slouží ke stanovení přibližného obsahu zředňujících a hořlavých látek. Hodnocení se provádí převážně podle ČSN 65 6212 (podle Clevlanda) a ČSN 65 6064 (podle Marcusona). [8]

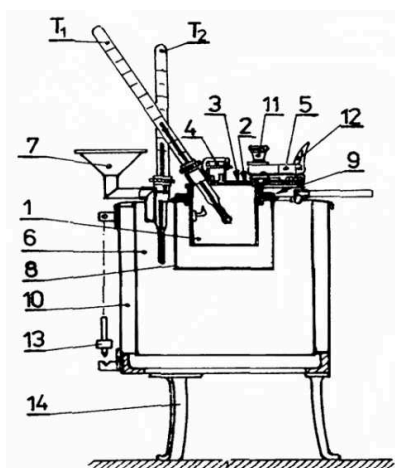
Bod vzplanutí je definován jako nejnižší teplota kapaliny, při které se v normovaném zařízení vytvoří taková směs par analyzované látky se vzduchem, která po přiblížení iniciačního plaménku vzplane a okamžitě zhasne.

Zkouška se provádí v kelímku na místě, které je dostatečně chráněno od průvanu. Aby bylo vzplanutí dobře viditelné, zvolíme dostatečně tmavé prostředí. Měrnou jednotkou je stupeň celsia [°C]. [8]

- **Bod vzplanutí v uzavřeném kelímku**

Podstatou zkoušky je zahřívání vzorku bez míchání v uzavřeném kelímku a v pravidelných teplotních intervalech se zavádí do kelímku na 2 s. zkušební plamének. Zjišťujeme nejnižší teplotu, při které vzplane a opět zhasne směs par se vzduchem, která se vytváří nad hladinou vzorku (obr. 3.9). [8]

a) podle Abela-Penskyho - ČSN 65 6065 (pro bod vzplanutí $-30 \div +65^{\circ}\text{C}$)



Obr. 3.9 Bod vzplanutí v uzavřeném kelímku podle Abel – Penskyho

b) podle Penskyho-Martense - ČSN EN 22719 (pro bod vzplanutí $>65^{\circ}\text{C}$)



Obr. 3.10 Přístroj pro měření bodu vzplanutí podle Penskyho – Martense [10]

- **Bod vzplanutí v otevřeném kelímku**

Podstatou zkoušky je zahřívání vzorku v otevřeném kelímku předepsanou rychlostí do prvního vzplanutí par vzorku nad hladinou po přiblížení zkušebního plamínku. Při dalším zahřívání vzorku, při kterém páry vzplanou a hoří bez přerušení nejméně 5 s. [10]

Pokud hodnota vzplanutí je přibližně o 20 – 25°C nižší než hodnota bodu vzplanutí nového oleje je nutná výměna oleje. U motorových olejů se pohybuje hodnota v rozmezí 170 – 200 °C. Metoda stanovení se zkouší podle Clevelanda (obr. 3.11) nebo Markussona. [10]

a) Metoda stanovení bodu vzplanutí podle Clevelanda - ČSN 65 6212



Obr. 3.11 Přístroj pro stanovení bodu vzplanutí podle Clevelanda [10]

b) Metoda vzplanutí podle Markussona - ČSN 65 6244 (pro bod vzplanutí >50°C).

3.3.4 Číslo alkality a kyselosti

Jediným ukazatelem stárnutí průmyslových olejů je číslo kyselosti. Proto je důležité využívat metod tribodiagnostiky pro jeho stanovení. Udává podíl chemických složek v oleji. [10]

Číslo celkové alkality - TBN (Total Base Number)

Definice: Číslo celkové alkality (mg KOH.g-1) udává množství kyseliny chloristé, vyjádřené počtem mg hydroxidu draselného, které je třeba k neutralizaci všech zásaditých složek, přítomných v 1 g vzorku oleje. [10]

Číslo celkové kyselosti - TAN (Total Acid Number)

Definice: Číslo celkové kyselosti je definováno jako množství KOH v mg, spotřebované na neutralizaci všech kyselých složek obsažených v 1 gramu analyzovaného vzorku oleje. [10]

3.3.5 Metody pro stanovení koncentrace otěrových kovů

- **Atomová spektrofotometrie**

Metoda pro určení většiny prvků periodické soustavy a jejich koncentrace v mazivu. Díky rozboru spektra lze určit přesné kvantitativní i kvalitativní složení zkoumaného vzorku. Emisní spektrofotometrie pomáhá během jediného měření určit kvalitativní i kvantitativní složení vzorku. Je však finančně náročnější na přístrojové vybavení oproti absorpční spektrofotometrii. [10]

Principem metody je dodání atomu vhodnou metodou (tepelnou, chemickou, elektromagnetickou nebo elektrickou) energii, která se konvertuje různými atomickými procesy na energii světelnou. Využití metody při velikostech otěrových částic řádově desetin a desítky mikrometrů. [10]

- **Polarografie**

Metoda pro určení většiny prvků periodické soustavy a jejich koncentraci v mazivu. Polarografická metoda je založena na studiu elektrolýzy se rtuťovou elektrodou a na interpretaci měření vzniklých křivek intenzity proudu a napětí. Podstata polarografie je zjišťování závislosti proudu na plynule zvětšovaném napětí při elektrolýze prováděné mezi polarizovatelnou a nepolarizovatelnou elektrodou. Závislost proudu na vloženém napětí zobrazuje polarografická vlna. Tato vlna je charakterizovaná kvantitativně výškou. Každý prvek (látka) vytváří svoji vlnu, čímž vzniká polarografické spektrum a určíme tedy přítomnost daného otěrového kovu. [10]

- **Voltametrie**

Polarografická metoda, při které rtuťová kapková elektroda je nahrazena stacionární rtuťovou kapkou a využívá citlivější pulsní polarografii. [10]

- **Metoda RAMO**

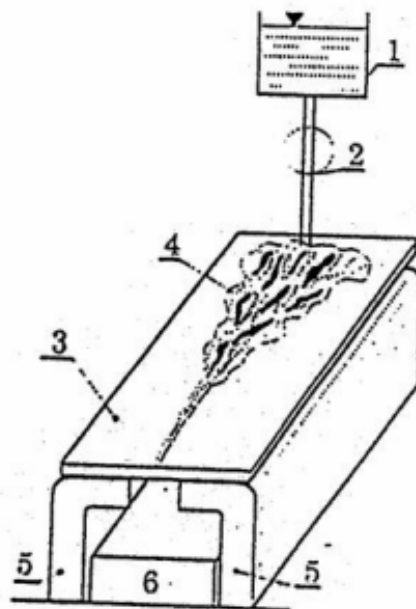
Metoda založená na rychlé analýze přímo v provozních podmínkách. Určujeme přítomnost čtyř základních kovů (Fe, Cu, Pb, Al). Principem je extrakce otěrových kovů do vodní lázně a jejich následné vizuální fotometrické stanovení. [10]

- **Ferografie**

Tato metoda je založena na oddělení magnetických otěrových částic a prvků obsažených ve vzorku oleje na transparentní podložku nebo sklíčko pomocí vytvoření silného magnetického pole. Pomocí této metody určujeme počet, velikost i tvar otěrových částic. Každá fáze poškození vytváří jiný tvar, počet i velikost otěrových částic a díky tomu můžeme určit přibližnou fázi poškození zkoumaného objektu.

Na obr. 3.12 jednoduché schéma zkoušky. V nádobce (1) je obsažen vzorek oleje, který přitéká trubicí (2) na nakloněnou rovinu (3) a stéká po ní ve vytvořeném magnetickém poli (5). V nejhornější části nakloněné roviny zůstávají největší otěrové částice a postupně se cestou dolů zachytávají sestupně až po nejmenší a zůstávají na

nakloněné rovině (3). Děje se vlivem velikosti magnetického pole kde největší působí v nejspodnější části nakloněné roviny a přitáhne na podložku i ty nejmenší částice unášené vrstvou oleje. [10]



Obr. 3.12 Popis principu feromagnetické zkoušky. [10]

4 Praktická část

4.1 Stroj KM 650

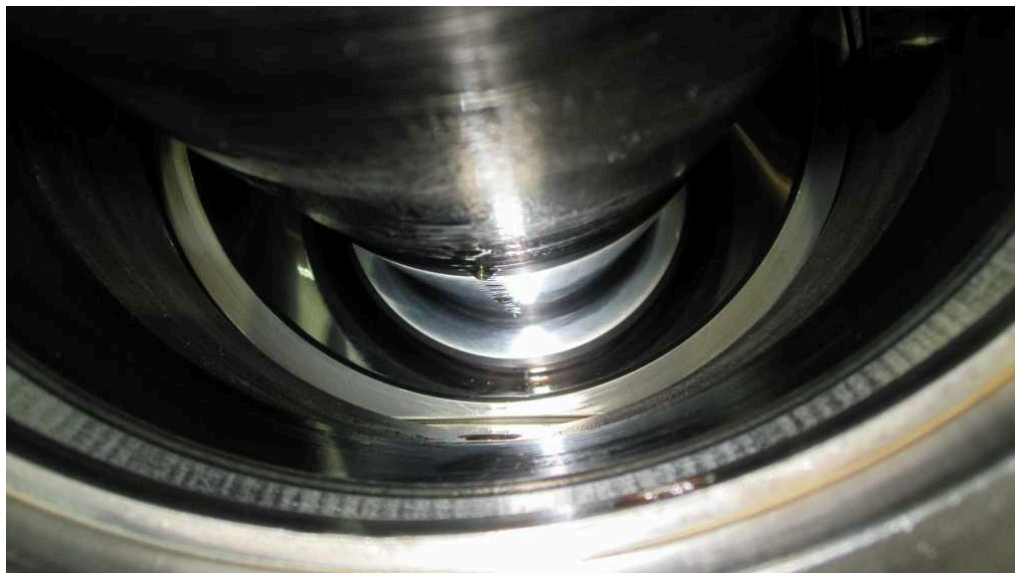
Pro problém častých poruch a odstávek stroje jsem vytipoval Krauss Maffei 650 (obr. 4.1) z provozu lisovacích strojů. Jeho časté problémy v netěsnostech a vydírání funkčních částí hydraulického systému jsou hlavním důvodem pro zvolení právě tohoto stroje. Lis pracuje v čistém provozu na výrobcích pro automobilový průmysl. Veškeré úniky olejů jsou proto silně nežádoucí a mají za výsledek odstavení strojů.



Obr. 4.1 Krauss Maffei 650

4.2 Příklad poruch

a) **Vydírání a netěsnost** – na stroji došlo k problému úniku hydraulického oleje kolem vodících sloupů lisu a k tvorbě rzi (obr. 4.2 a obr. 4.3).



Obr. 4.2 Netěsnost u vodícího sloupu



Obr. 4.3 Tvorba rzi u vodícího sloupu lisu

b) Nečistoty v nádrži stroje – problém, který se řeší kompletním vyčištěním nádrže od rzi, usazenin, kalů apod. (obr. 4.4). Následuje výměna hydraulického oleje za nový pomocí filtračního zařízení (obr. 4.5).



Obr. 4.4 Detail olejové nádrže po vyčištění



Obr. 4.5 Filtrační zařízení pro načerpání nového oleje

4.3 Použitý hydraulický olej

Hydraulický olej dle ISO: 46/ VG 46/hydraulický olej. Tato řada od značky Mobil s označením DTE 25 představuje mimořádně kvalitní hydraulický olej s vysokou ochranou proti opotřebení navržený tak, aby uspokojil celou řadu požadavků náročných hydraulických zařízení.

Tento hydraulický olej velmi dobře odolává korozi a umožňuje tak prodloužit interval výměny oleje a olejových filtrů. Má také vysokou úroveň ochrany proti opotřebení a výborné parametry filmu, který zajistí dokonalou funkci zařízení, která se projeví nejen menším počtem poruch, ale také zvýšením výrobní kapacity. Díky vlastnosti řízené deemulgační schopnosti umožňuje tento olej pracovat i v soustavách znečištěných malým množstvím vody a také snadno odlučovat velké množství vody.

Olej řady DTE 25 je vyroben z vysoce kvalitních základových olejů a dokonale stabilizované kombinace aditiv, která neutralizuje utváření korozivních složek. Tyto oleje jsou hlavně určeny do soustav pracujících s velkým zatížením. Jejich složení umožňuje olejům pracovat i tam, kde se obecně doporučují hydraulické oleje, které ochranu proti opotřebení nezaručují.

Požadovaný kód čistoty hydraulické olejové náplně dle ISO 4406 je 15/10, dle NAS 1638 je 7. Velikost olejové náplně je 1 240 litrů. Výměna olejové náplně dle výrobce má proběhnout po 4500 provozních hodinách.

5 Využití tribodiagnostiky

5.1 Referenční vzorek

Pro určení počáteční kvality hydraulického oleje z hlediska fyzikálně chemických vlastností a určení obsahu nečistot jsem nechal provést rozbor nového oleje ještě před načerpáním do stroje. Olej byl odebrán přímo z nádoby, v které byl doručen. Cílem bylo pořídit referenční vzorek, od kterého se budou další rozborů porovnávat. Hodnoty jednotlivých výsledků rozboru jsem znázornil do tabulky.

Pro tribodiagnostickou kontrolu byla použita metodika níže uvedených norem:

- stanovení obsahu vody coulometricky – ČSN 65 0330,
- stanovení kódu čistoty – ČSN 65 6206 a 65 6081,
- stanovení kinematické viskozity – ČSN EN ISO 3104,
- stanovení bodu vzplanutí v o. k. dle ČSN EN ISO 2592,
- ferografie – instrumentální metodika ke zjištění opotřebení zařízení,
- charakteristika vzorku – instrumentální metodika.

5.1.1 Vyhodnocení rozboru

Tab. 5.1 Hodnoty rozboru nového vzorku oleje

Datum	Limitní hodnoty	Mobil DTE 25
Provozní hodiny		
Provoz olejové náplně		0
Barva	nesmí dojít k výrazné změně s předchozím vyhodnocením	žlutá
Vzhled		čirý
Viskozita při 40°C	46± 10 – 15%	47,01
Voda (ppm)	max. 200	102
Číslo kyselosti (mg KOH/g)	1,22 max + 0,25	1,05
Bod vzplanutí (°C)	min 180	216
Kód čistoty ISO (NAS)	max. 15/10 (7)	15/10 (7)
Obsah aditiv/ox. produktů/barva membrány		
Denzita opotřebení	max 300	0

Tab. 5.2 Vyhodnocení opotřebení zařízení

Datum	nový
Fe částice	0
Fe ₂ O ₃ částice	0
Abrazivní částice Fe	0
Cu částice	0
Sférické částice	0
Prachové částice - Si	0
Kalové úsady	0
Ostatní - vlákna	0

5.1.2 Stav degradace olejové náplně:

- viskozita při 40° odpovídá ISO VG 46 – MOBIL DTE 25,
- obsah vody vyhovuje – 102 ppm (limitní hranice 200ppm),
- bod vzplanutí v otevřeném kelímku vyhovuje,
- stupeň znečištění vyhovuje – dle ISO (NAS) 15/10(7) splňuje požadavky pro bezpečný provoz hydraulického zařízení.

5.2 Odběr po 2 100 Ph

Po uběhnutí 2 100 provozních hodin jsem odebral vzorek pro zjištění aktuálního stavu hydraulické olejové náplně stroje. Jedná se o provoz zhruba 4 měsíců v nepřetržitém provozu výroby s minimem odstávek. Do provozu stroje nepočítáme čas seřizování a výměny forem.

Pro tribodiagnostickou kontrolu byla použita metodika níže uvedených norem:

- stanovení čísla kyselosti – ČSN 65 6070,
- stanovení obsahu vody coulometricky – ČSN 65 0330,
- stanovení kódu čistoty – ČSN 65 6206 a 65 6081,
- stanovení kinematické viskozity – ČSN EN ISO 3104,

- stanovení bodu vzplanutí v otevřeném kelímku dle ČSN EN ISO 2592,
- ferografie – instrumentální metodika ke zjištění opotřebení zařízení,
- charakteristika vzorku – instrumentální metodika,
- obsah aditivních přísad – FTIR IČ spektrometrie,
- obsah oxidačních produktů – FTIR IČ spektrometrie.

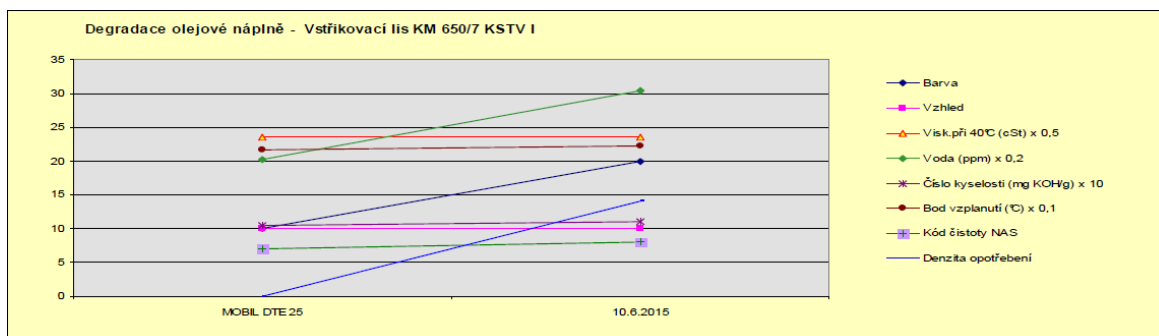
5.2.1 Vyhodnocení rozboru

Tab. 5.3 Vyhodnocení degradace olejové náplně

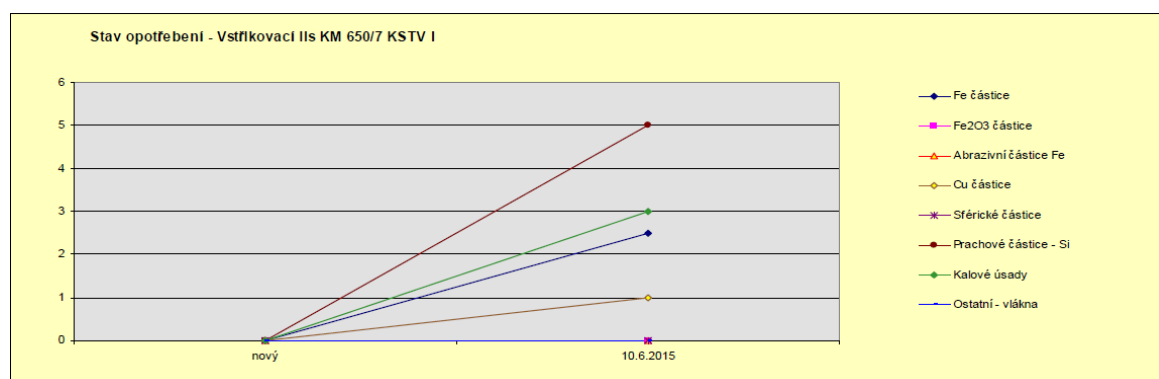
Datum	Limitní hodnoty	Mobil DTE 25	10.6.2015
Provozní hodiny			52 183:52
Provoz olejové náplně		0	
Barva	nesmí dojít k výrazné změně s předchozím vyhodnocením	žlutá	žlutá
Vzhled		čirý	čirý
Viskozita při 40°C	46± 10 – 15%	47,01	47,18
Voda (ppm)	max. 200	102	152
Číslo kyselosti (mg KOH/g)	1,22 max + 0,25	1,05	1,11
Bod vzplanutí (°C)	min 180	216	222
Kód čistoty ISO (NAS)	max. 15/10 (7)	15/10 (7)	13/11 (8)
Obsah aditiv/ox. produktů/barva membrány			87,8/0,01/1
Denzita opotřebení	max 300	0	14

Tab. 5.4 Vyhodnocení opotřebení zařízení

Datum	nový	10.6.2015
Fe částice	0	5
Fe ₂ O ₃ částice	0	0
Abrazivní částice Fe	0	0
Cu částice	0	1
Sférické částice	0	0
Prachové částice - Si	0	5
Kalové úsady	0	3



Obr. 5 Graf vývoje degradace olejové náplně



Obr. 5.1 Graf vývoje stavu opotřebení

5.2.2 Ferografie

Na snímku jsou zaznamenány:

- částice Fe velikosti 5 - 15 μ m,
- kalové úsady velikosti 15 μ m,
- částice ložiskového kovu – slitina Cu velikosti 5 μ m, prachové částice.



Obr. 5.2 Snímek z ferografie

5.2.3 Kód čistoty

Počet částic na 100% plochy a 100,0 ml vzorku ISO (NAS) 13/11(8):

Tab. 5.5 Počet částic

> 5, <= 15 μm	4322
> 15, <= 25 μm	692
> 25, <= 50 μm	692
> 50, <= 100 μm	346
> 100 μm	0

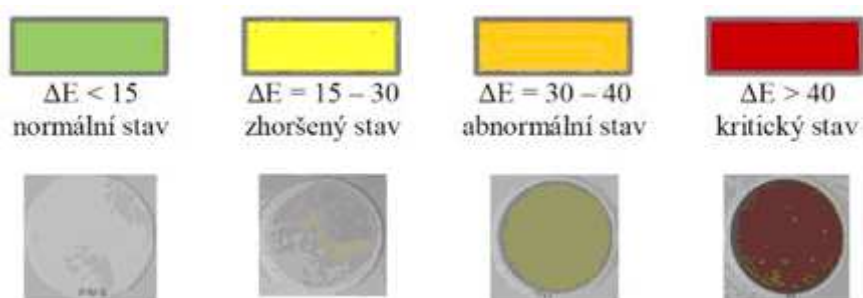


Obr. 5.3 Snímek zbarvení membrány

5.2.4 Vyhodnocení zbarvení membrány

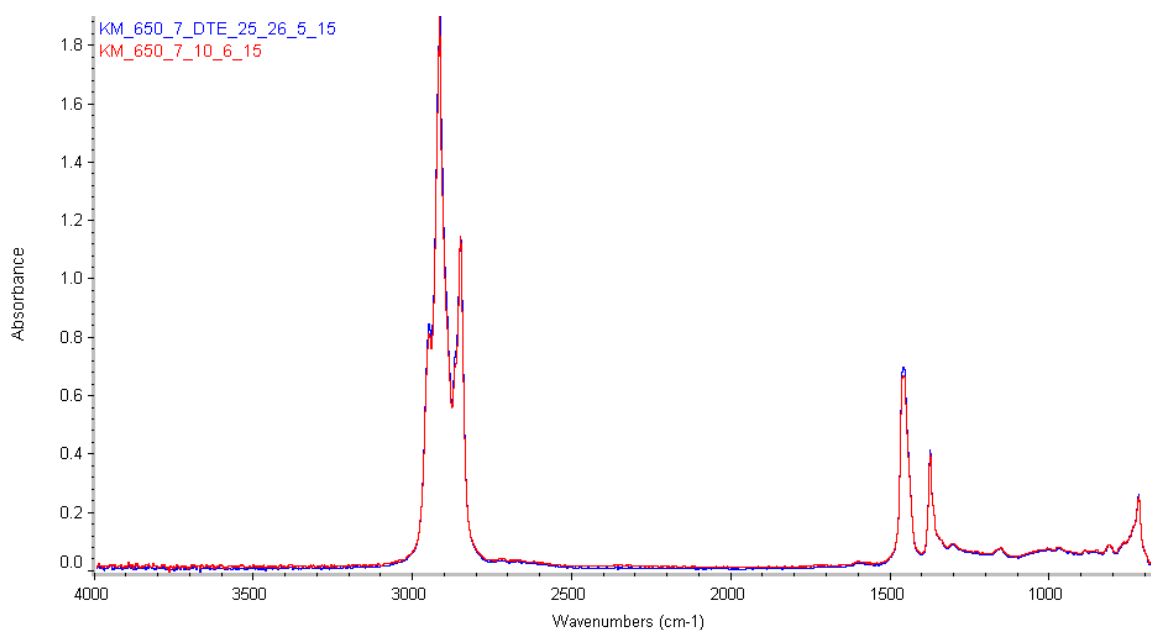
Tab. 5.6 Vyhodnocení zabarvení membrány

Obsah oxidačních produktů	Obsah aditiv	Zbarvení membrány dle ASTMD7843
0,01(max. 0,2)	87,8% (min. 30%)	1



Obr. 5.4 Ethalon pro vyhodnocení

5.2.5 Infračervená spektrometrie



Obr. 5.5 Celé spektrum

5.2.6 Stav degradace olejové náplně:

- viskozita při 40° odpovídá ISO VG 46 – MOBIL DTE 25,
- číslo kyselosti vyhovuje,
- obsah vody vyhovuje – 152 ppm (limitní hranice 200 ppm),
- bod vzplanutí v otevřeném kelímku vyhovuje,
- **stupeň znečištění nevyhovuje**
- **dle ISO (NAS)13/11(8), nesplňuje požadavky pro bezpečný provoz hydraulického zařízení.**
- FTIR IČ spektrometrie - obsah oxidačních produktů vyhovuje,
- zabarvení membrány vyhovuje,
- obsah aditiv – vyhovuje.
- stupeň opotřebení vyhovuje:
 - výskyt částic Fe velikosti 5 – 15μm v koncentraci 5x/ml,
 - kalové úsady velikosti 5 – 15μm v koncentraci 3x/ml,
 - částice ložiskového kovu velikosti 5 - 15μm v koncentraci 1x/ml,
 - sférické částice – kulovité útvary v koncentraci 0x/ml,
 - prachové částice velikosti 5 – 15 - 25μm v koncentraci 5x/ml.

5.2.7 Shrnutí rozboru a doporučení

Analýzou bylo zjištěno, že je olej nadále provozuschopný s podmínkou filtrace. Chemicky olej v pořádku, stav opotřebení vyhovuje. Výskyt částic slitiny Cu v doprovodu sférických částic není, vzhledem k velikosti částic a koncentraci výskytu, alarmující.

Doporučena filtrace olejové náplně. Kontrola olejové náplně stanovena po provedené filtraci a následně po 2 100 provozních hodinách.

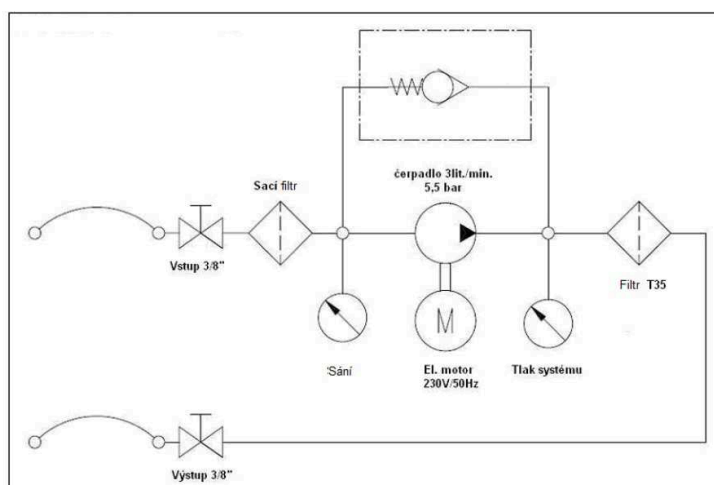
5.3 Použití filtrace

Základ filtračního zařízení je tvořen rámovou svařovanou konstrukcí z uzavřených ocelových profilů tvaru rukojeti pro jednoduchou manipulaci při přenášení. Vodotěsné dno skeletu svařené s rámem vytváří sběrnou nádrž pro případ náhodných úniků oleje z hydraulického obvodu. Elektromotor spolu s čerpadlem jsou opatřeny regulačním ventilem a jsou připevněné ke skeletu šrouby. Filtrační jednotka je přišroubovaná k výstuhám skeletu. Uvnitř skeletu je instalovaný hydraulický obvod z povrchově upravených trubek a armatur. Instalovaný 3-cestný ventil, který zařízení obsahuje, umožňuje přepínání mezi režimem přečerpávání a režimem filtrace. Režim přečerpávání využíváme při novém plnění stroje hydraulickým olejem. Filtrační zařízení je určeno na filtraci hydraulických obvodů. Filtrační schopnost závisí na použití filtrační vložky. Využití tohoto typu filtrační jednotky jsem se rozhodl po doporučení přefiltrování olejové náplně po tribodignostické kontrole. Na obr. 5.6 a obr. 5.7 filtrace s popisem částí.

Tab. 5.7 Technické parametry filtračního zařízení

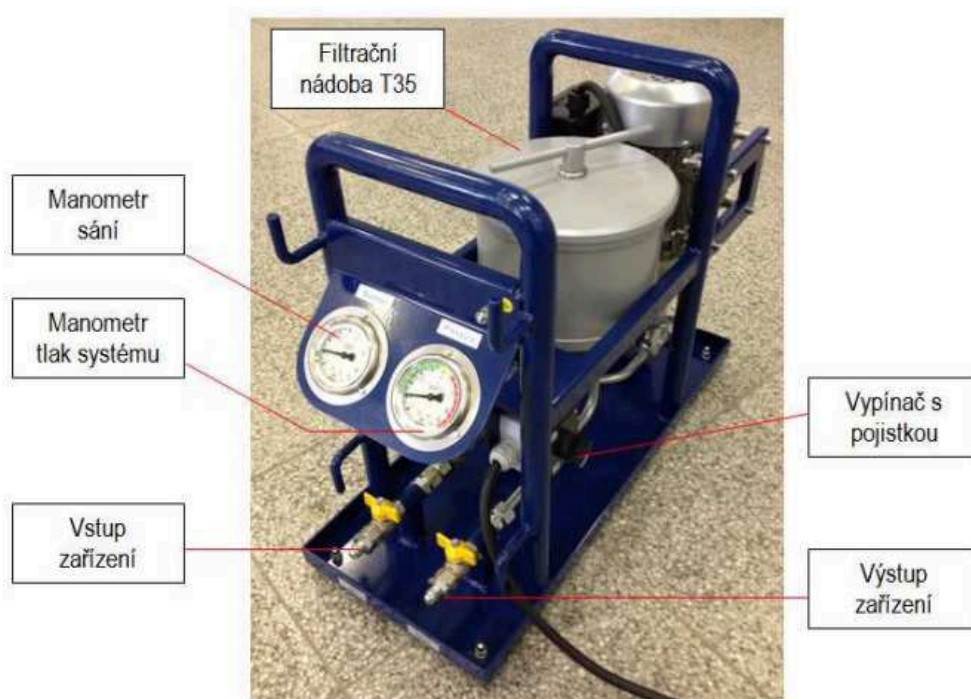
Technické parametry		Jednotka	Hodnota
Typ filtrační baterie			SN030 – model SN035
Počet filtračních jednotek		ks	1
Normální průtok		l/min.	3
Maximální objem nádrže		l	1300
Maximální teplota oleje		°C	80
Viskozita vstupního oleje		cSt	9 – 220
Max. provozní tlak/ zkušební tlak		bar	5 / 7,5
Hydraulické připojení	vstup	závit	G 3/8 “
	výstup	závit	G 3/8 “
Vnější rozměry	délka	mm	600
	šířka	mm	250
	výška	mm	470
Hmotnost		kg	35
Elektrické napájení		V	230
Elektromotor		Hz/kW	50 / 0,37
Stupeň ochrany el. zařízení			IP 54

5.3.1 Schéma filtračního zařízení

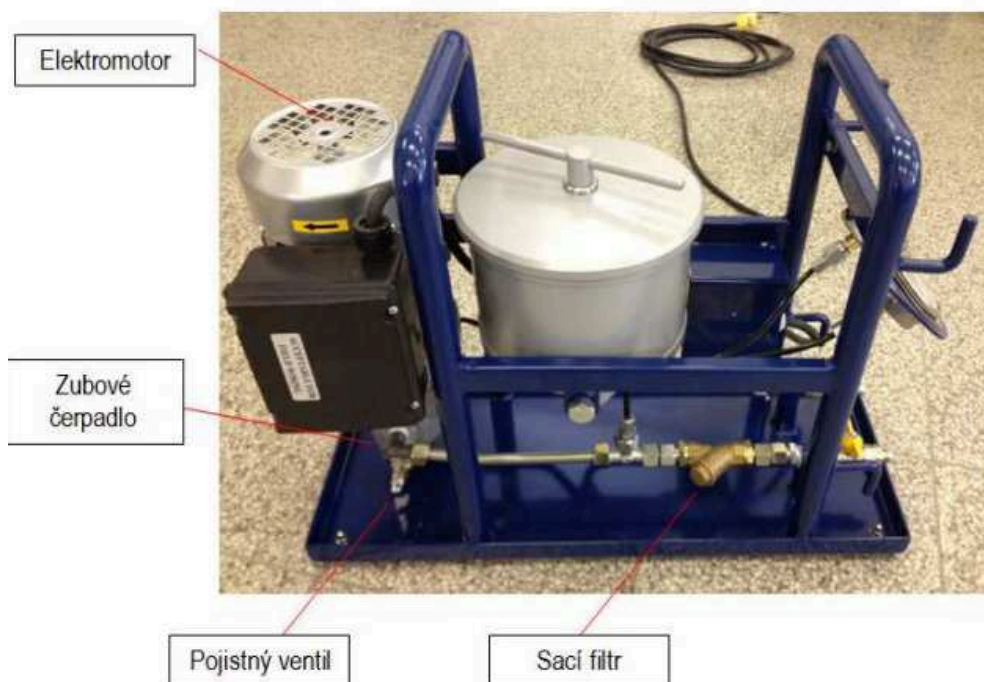


Obr. 5.6 Funkční schéma filtračního zařízení

5.3.2 Základní prvky filtračního zařízení



Obr. 5.7 Filtrační zařízení a popis



Obr. 5.8 Filtrační zařízení a popis

5.4 Odběr po 2 100 PH po přefiltrování

Po doporučeném přefiltrování olejové náplně pro velký výskyt částic nečistot a kovu, bylo použito filtrační zařízení SN030. Po uběhnutí 2 100 provozních hodin od uvedení filtrace na stroji do provozu, byl proveden následný tribologický rozbor hydraulické náplně.

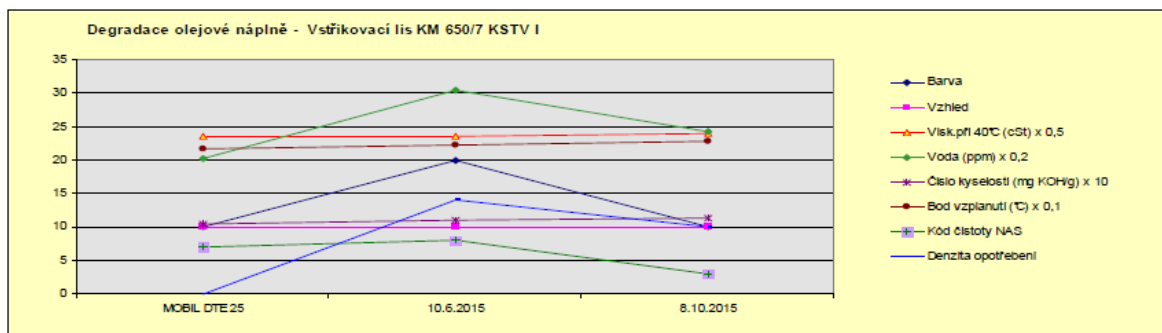
5.4.1 Vyhodnocení rozboru

Tab. 5.8 Vyhodnocení degradace olejové náplně

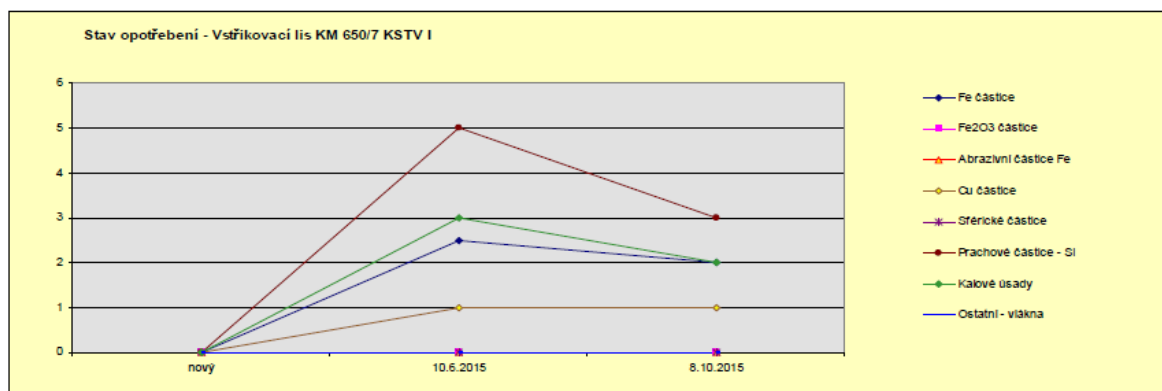
Datum	Limitní hodnoty	Mobil DTE 25	10.6.2015	8.10.2015
Provozní hodiny			52 183:52	54 641:32
Provoz olejové náplně		0		
Barva	nesmí dojít k výrazné změně s předchozím vyhodnocením	žlutá	žlutá	žlutá
Vzhled		čirý	čirý	čirý
Viskozita při 40°C	46± 10 – 15%	47,01	47,18	47,79
Voda (ppm)	max. 200	102	152	121
Číslo kyselosti (mg KOH/g)	1,22 max + 0,25	1,05	1,11	1,14
Bod vzplanutí (°C)	min 180	216	222	228
Kód čistoty ISO (NAS)	max. 15/10 (7)	15/10 (7)	13/11 (8)	11/9 (3)
Obsah aditiv/ox. produktů/barva membrány			87,8/0,01/1	95,2/0,02/4
Denzita opotřebení	max 300	0	14	10

Tab. 5.9 Vyhodnocení opotřebení zařízení

Datum	nový	10.6.2015	8.10.2015
Fe částice	0	5	4
Fe ₂ O ₃ částice	0	0	0
Abrazivní částice Fe	0	0	0
Cu částice	0	1	1
Sférické částice	0	0	0
Prachové částice - Si	0	5	3
Kalové úsady	0	3	2
Ostatní - vlákna	0	0	0



Obr. 5.9 Graf vývoje degradace olejové náplně



Obr. 5.10 Graf vývoje stavu opotřebení

5.4.2 Ferografie

Na snímku jsou zaznamenány:

- částice Fe velikosti 5 - 15 μ m,
- kalové úsady velikosti 15 μ m,
- částice ložiskového kovu – slitina Cu velikosti 5 μ m, prachové částice.



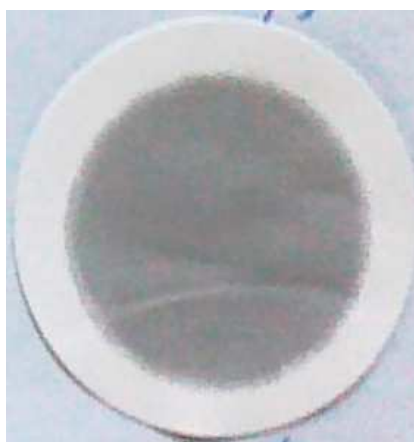
Obr. 5.11 Snímek z ferografie

5.4.3 Kód čistoty

Počet částic na 100% plochy a 100,0 ml vzorku ISO (NAS) 11/9(3):

Tab. 5.10 Počet částic

> 5, <= 15 μm	1037
> 15, <= 25 μm	346
> 25, <= 50 μm	0
> 50, <= 100 μm	0
> 100 μm	0

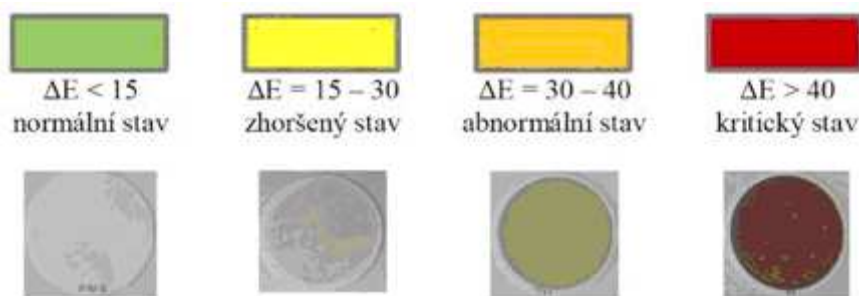


Obr. 5.12 Snímek zbarvení membrány

5.4.4 Vyhodnocení zbarvení membrány

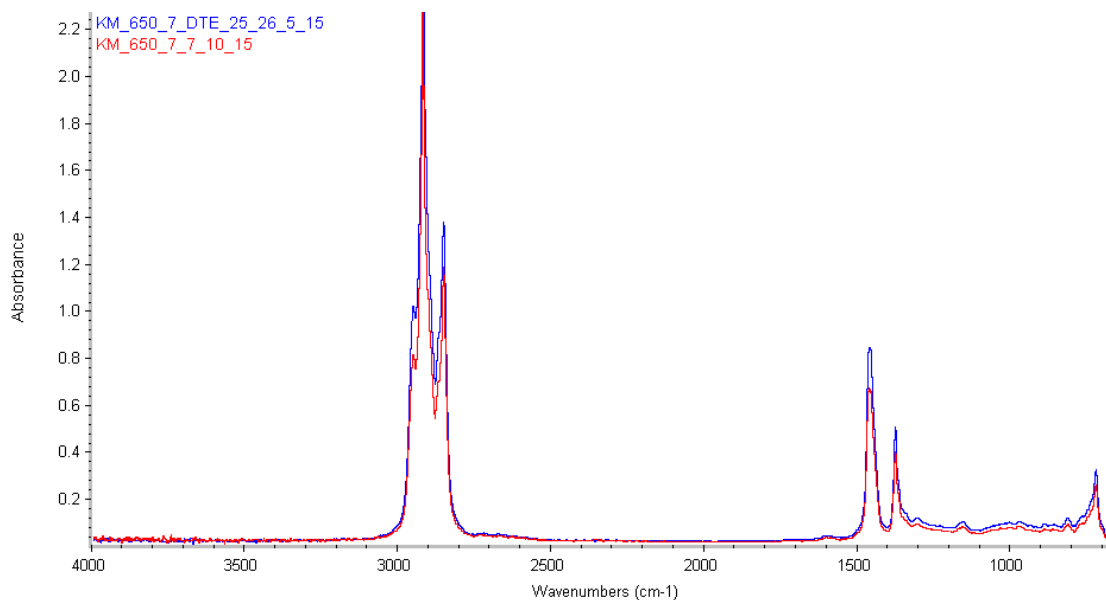
Tab. 5.11 Vyhodnocení zbarvení membrány

Obsah oxidačních produktů	Obsah aditiv	Zbarvení membrány dle ASTMD7843
0,02(max. 0,2)	95,2 % (min. 30%)	4



Obr. 5.13 Ethalon pro vyhodnocení

5.4.5 Infračervená spektrometrie



Obr. 5.14 Celé spektrum

5.4.6 Stav degradace olejové náplně:

- viskozita při 40°C odpovídá ISO VG 46 – MOBIL DTE 25,
- číslo kyselosti vyhovuje,
- obsah vody vyhovuje – 121ppm (limitní hranice 200ppm),
- bod vzplanutí v otevřeném kelímku vyhovuje,
- stupeň znečištění vyhovuje dle ISO (NAS) 1109(3) = splňuje požadavky pro bezpečný provoz hydraulického zařízení,
- FTIR IČ spektrometrie - obsah oxidačních produktů vyhovuje,
- zabarvení membrány nevyhovuje,
- obsah aditiv – vyhovuje,
- stupeň opotřebení vyhovuje:
 - výskyt částic Fe velikosti 5 – 15µm v koncentraci 4x/ml,
 - kalové úsady velikosti 5 – 15µm v koncentraci 2x/ml,
 - částice ložiskového kovu velikosti 5µm v koncentraci 1x/ml,
 - sférické částice – kulovité útvary v koncentraci 0x/ml,
 - prachové částice velikosti 5 – 15 - 25µm v koncentraci 3x/ml.

5.4.7 Shrnutí rozboru a doporučení

Analýzou bylo zjištěno, že je olej nadále provozuschopný s podmínkou filtrace olejové náplně lisovacího stroje. Zabarvení membránového filtru značí sklon ke zvýšené tvorbě měkkých kalů. Stav opotřebení vyhovuje. Výskyt částic slitiny Cu v doprovodu sférických částic není, vzhledem k velikosti částic a koncentraci výskytu alarmující.

Doporučuji filtraci olejové náplně za účelem snížení obsahu měkkých kalů. Dále po filtraci navrhuji trvalé zapojení filtračního zařízení SN030 pro filtrování nádrže olejové náplně lisovacího stroje. Kontrolu olejové náplně provedeme po 2 100 provozních hodinách.

5.5 Odběr po 2100 PH po trvalém zapojení filtračního zařízení

Po doporučeném přefiltrování olejové náplně pro snížení obsahu měkkých kalů bylo použito filtrační zařízení SN030. Filtrační zařízení bylo trvale napojeno na lisovací stroj. Po uběhnutí 2 100 provozních hodin od uvedení filtrace na stroji do provozu byl proveden následný tribologický rozbor hydraulické náplně.

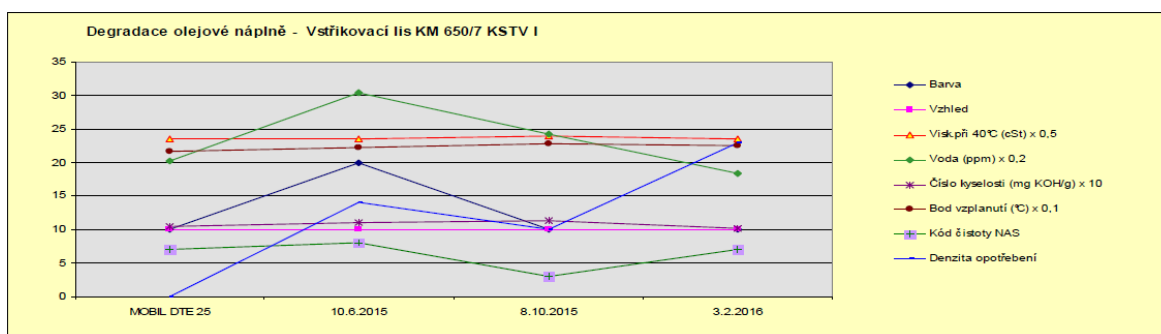
5.5.1 Vyhodnocení rozboru

Tab. 5.12 Vyhodnocení degradace olejové náplně

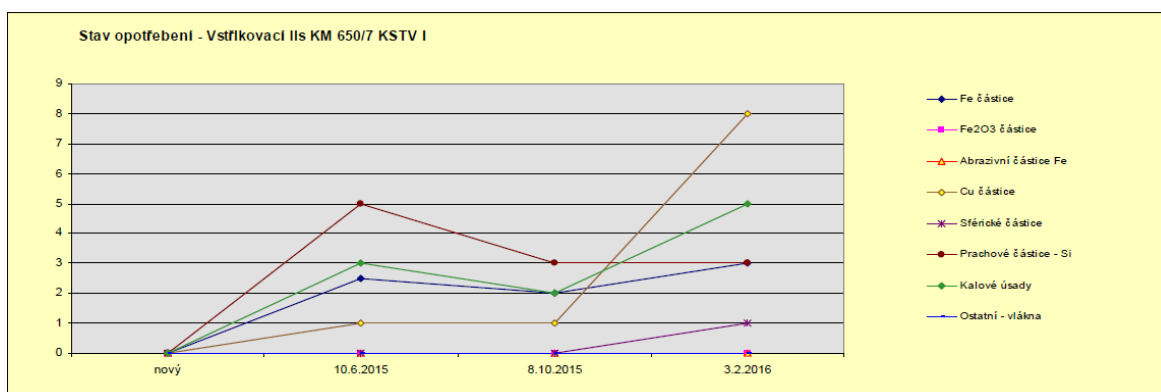
Datum	Limitní hodnoty	Mobil DTE 25	10.6.2015	8.10.2015	3.2.2016
Provozní hodiny			52 183:52	54 641:32	56 802:56
Provoz olejové náplně		0			
Barva	nesmí dojít k výrazné změně s předchozím vyhodnocením	žlutá	žlutá	žlutá	žlutá
Vzhled		čirý	čirý	čirý	čirý
Viskozita při 40°C	46± 10 – 15%	47,01	47,18	47,79	47,14
Voda (ppm)	max. 200	102	152	121	92
Číslo kyselosti (mg KOH/g)	1,22 max + 0,25	1,05	1,11	1,14	1,02
Bod vzplanutí (°C)	min 180	216	222	228	225
Kód čistoty ISO (NAS)	max. 15/10 (7)	15/10 (7)	13/11 (8)	11/9 (3)	12/10 (7)
Obsah aditiv/ox. produktů/b. membrány			87,8/0,01/1	95,2/0,02/4	80,4/0,00/1
Denzita opotřebení	max 300	0	14	10	23

Tab. 5.13 Vyhodnocení opotřebení zařízení

Datum	nový	10.6.2015	8.10.2015	3.2.2016
Fe částice	0	5	4	6
Fe ₂ O ₃ částice	0	0	0	0
Abrazivní částice Fe	0	0	0	0
Cu částice	0	1	1	8
Sférické částice	0	0	0	1
Prachové částice - Si	0	5	3	3
Kalové úsady	0	3	2	5
Ostatní - vlákna	0	0	0	0



Obr. 5.15 Graf vývoje degradace olejové náplně



Obr. 5.16 Graf vývoje stavu opotřebení

5.5.2 Ferografie

Na snímku jsou zaznamenány:

- částice Fe velikosti 5 – 15 μm ,
- kalové úsady velikosti 15 – 50 μm ,
- částice ložiskového kovu – slitina Cu velikosti 5 – 25 – 60 μm ,
- prachové částice.



Obr. 5.17 Snímek z ferografie

5.5.3 Kód čistoty

Počet částic na 100% plochy a 100,0 ml vzorku ISO (NAS) 12/10(7):

Tab. 5.14 Obsah nečistot

> 5, <= 15 μm	2247
> 15, <= 25 μm	519
> 25, <= 50 μm	173
> 50, <= 100 μm	173
> 100 μm	0

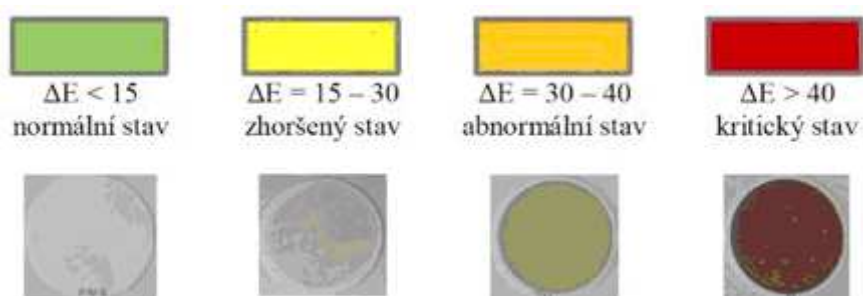


Obr. 5.18 Snímek zbarvení membrány

5.5.4 Vyhodnocení zbarvení membrány

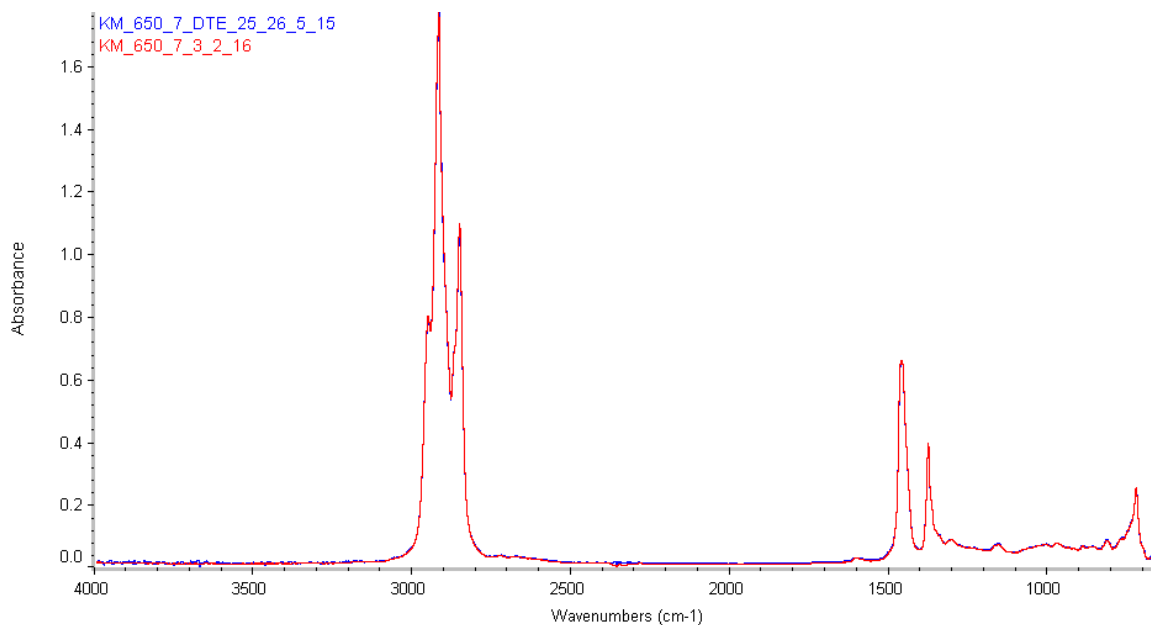
Tab. 5.15 Vyhodnocení zbarvení membrány

Obsah oxidačních produktů	Obsah aditiv	Zbarvení membrány dle ASTMD7843
0,00(max. 0,2)	80,4 % (min. 30%)	1



Obr. 5.19 Ethalon pro vyhodnocení

5.5.5 Infračervená spektrometrie



Obr. 5.20 Celé spektrum

5.5.6 Stav degradace olejové náplně:

- Viskozita při 40°C odpovídá ISO VG 46 – MOBIL DTE 25,
- číslo kyselosti vyhovuje,
- obsah vody vyhovuje – 92ppm (limitní hranice 200ppm),
- bod vzplanutí v otevřeném kelímku vyhovuje,
- stupeň znečištění vyhovuje dle ISO (NAS) 12/10(7) = splňuje požadavky pro bezpečný provoz hydraulického zařízení,
- FTIR IČ spektrometrie obsah oxidačních produktů vyhovuje,
- zabarvení membrány vyhovuje,
- obsah aditiv – vyhovuje,
- stupeň opotřebení vyhovuje:
 - výskyt částic Fe velikosti 5 – 15μm v koncentraci 6x/ml,
 - kalové úsady velikosti 5 – 15 – 30 - 50μm v koncentraci 5x/ml,
 - Částice ložiskového kovu velikosti 5 – 25 – 50 - 60μm v koncentraci 8x/ml,
 - sférické částice – kulovité útvary v koncentraci 1x/ml,
 - prachové částice velikosti 15 – 25 - 50μm v koncentraci 3x/ml.

5.5.7 Shrnutí rozboru a doporučení

Analýzou bylo zjištěno, že je olej nadále provozuschopný – chemicky olej v pořádku. Stav opotřebení vyhovuje. Výskyt částic slitiny Cu v doprovodu sférických částic není, vzhledem k velikosti částic a koncentraci výskytu, alarmující. Bez technických opatření. Kontrolu olejové náplně doporučuji po 2 100 provozních hodin. Vzhledem k zlepšení kvality a menšímu výskytu znečišťujících částic nebezpečných pro provoz navrhuji i nadále trvalé zapojení přídavného filtračního zařízení SN030.

5.6 Finanční vyhodnocení

Tab. 5.16 Pohled na jednotlivé ceny

Olej Mobil DTE 25	Kč/l	52,-
Filtrační zařízení SN030	Kč	38 650,-
Výměna hydraulického oleje	1240 litrů	64 480 Kč
Tribologický rozbor	1 250 Kč	

6 Závěr

Hlavním úkolem diplomové práce byla možnost zavedení propracovanějšího systému preventivní údržby u vstřikovacího stroje Krauss Maffei 650. V teoretické části diplomové práce jsem popsal princip vstřikolisů, představil výrobce těchto strojů a kompletně uvedl problematiku tribodiagnostiky a zaměřil se především na popsání metod použitých v praktické části při rozbořech hydraulického oleje.

V teoretické části už se zabývám využitím metod tribodiagnostiky, kde se jedná především o kontrolu fyzikálně – chemických vlastností a obsahu nečistot u použité hydraulické náplně vstřikolisu. Za využití metod tribodiagnostiky byla pravidelně prováděna kontrola kvality hydraulické náplně a hlídání předepsané čistoty. Při kompletní výměně hydraulické náplně bylo dbáno především na kompletní vyčištění nádrže, ve které se zdržovalo množství nečistot, usazenin a kalů z předešlého provozu stroje. Pro naplnění nové náplně byla použita filtrace pro zaručení maximální kvality a čistoty hydraulického oleje. Pro zjištění kvality dodaného hydraulického oleje byl proveden referenční rozbor na zjištění čistoty. Po uběhnutí 2100 provozních hodin byl proveden první tribodiagnostický rozbor a byl zjištěn větší obsah nečistot, díky kterému nevyhovoval předepsaný kód čistoty ISO (NAS) 15/10 (7). Navrhl jsem proto kompletní přefiltrování olejové náplně pro snížení obsahu těchto nečistot. Pro tuto metodu bylo pořízeno filtrační zařízení SN 030, které bylo napojeno na nádrž a došlo k přefiltrování.

Po přefiltrování a uvedení stroje do opětovného provozu byl proveden, opět po uplynutí 2100 provozních hodin, tribodiagnostický rozbor náplně. Zjištění obsahu měkkých kalů vnutilo myšlenku provést trvalé zapojení filtračního zařízení SN 030. Nutno říci, že předpis výrobce stanovuje doporučení výměny hydraulické náplně lisu po 4500 provozních hodinách. Proto jsem se upnul k cíli, protáhnout výměnu na maximální možnou hranici životnosti olejové náplně a tím pomoci k finanční úspoře. V současnou chvíli byl hydraulický olej ve stroji 4200 provozních hodin.

Uplynutím 2100 provozních hodin po trvalém zapojení filtrace do hydraulického systému byl proveden tribodiagnostický rozbor, který nám opět řekl vše důležité o olejové náplni stroje. Tento rozbor nezjistil zásadní problém v kódu čistoty a byl dodržen veškerý předpis, proto mohlo být mazivo i nadále použito ve stroji pro provoz.

Provoz této náplně tedy byl protažen na 6300 provozních hodin a může být po tribodiagnostické kontrole i nadále využit pro další provoz stroje. Bez využití metody tribodiagnostiky by došlo k preventivní výměně po uplynutí 4500 provozních hodin a znamenalo by to značnou investici do nákladů údržby stroje. Při ceně hydraulického oleje 52 Kč/l znamená jen výměna čítající 1240 litrů investici 64 480Kč. Každé prodloužení životnosti maziva o 2100 provozních hodin znamená tedy úsporu na mazivu 30 090 Kč. Při přijatelné ceně tribodiagnostického rozboru 1250 Kč je tedy úspora na každých 2100 provozních hodin 28 240 Kč. V současné chvíli běží provoz a stroj má opět těsně před uplynutím 2100 provozních hodin od posledního rozboru. Bude tedy znamenat další úsporu 28 240 Kč a celkově naroste na 56 480 Kč. Prvotní náklady na pořízení filtrace, které činily 38 650 Kč a budou splaceny z úspory a zůstaneme tedy v plusových hodnotách ve výši 17 830Kč.

Závěrem mohu tedy říci, že stanovený cíl pro zavedení fungujícího systému preventivní údržby stroje zaměřený na hydraulickou náplň pomocí tribodiagnostiky byl splněn a je v současné chvíli v plusových hodnotách, které pokud hydraulické mazivo projde úspěšně i další tribodiagnostickou kontrolou budou jen narůstat.

7 Seznam použité literatury

- [1] HELEBRANT, F.: *Technická diagnostika a spolehlivost – IV. Provoz a údržba strojů*. VŠB – TUO Ostrava 2008, 1. vydání, 130s, ISBN 978 - 80 – 248 – 1690-6
- [2] KREIDL, Marcel; ŠMÍD, Radislav; *Technická diagnostika*, 1. vydání, Praha: Ben 2006, 406s., ISBN 80-7300-158-6
- [3] KOPÁČEK, J.: *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*, Praha, SNTL – Nakladatelství technické literatury 1990, 159 s., ISBN 80-03-00308-3.
- [4] Spritzgießtechnik [online]. [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.kraussmaffei.com/de/spritzgiesstechnik.html>
- [5] PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA STROJŮ: Tribologie, základní pojmy [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/12-Provoz,%20diagnostika%20a%20%C3%BAAdr%C5%BEba%20stroj%C5%AF%2004.pdf>
- [6] Technologie II: Tváření kovů, vstřikování plastů. Technická univerzita Liberec [online]. Liberec [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [7] Hydraulické kapaliny [online]. 2012 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: http://www.cahp.cz/wp-content/2012/03/01_Cimcool_Hydraulicke_kapaliny.pdf
- [8] Tribotechnická diagnostika: Technický stav oleje, otěry strojních částí [online]. [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: http://tf.czu.cz/~pexa/Predmety/PUS/Prednasky/8_Tribo_Vibro_RGB.pdf
- [9] Provozní spolehlivost strojů a čistota oleje [online]. [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://cmms.cz/mazani/206-provozni-spolehlivost-stroju-a-cistota-oleje.html>
- [10] PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA STROJŮ: Tribodiagnostika kapalných maziv a strojních součástí [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/12-Provoz,%20diagnostika%20a%20%C3%BAAdr%C5%BEba%20stroj%C5%AF%2007.pdf>

- [11] HELEBRANT, František, ZIEGLER, Jiří a MARASOVÁ, Daniela. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6.
- [12] ŠAFR, Emil. *Tribotechnika*. SNTL Praha - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1984. 300 s. 04-243-84.
- [13] JSZCZEREK, Marian a WISNIEWSKI, Marek. *Tribologie, Tribotechnika*. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji Radom, 2000. 727 s. ISBN 83-7204-199-7.
- [14] SHIGLEY, Joseph Edward et al. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. v Brně: VUTIUM, 2010. xxv, 1159 s. Překlady vysokoškolských učebnic; sv. 3. ISBN 978-80-214-2629-0.